

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-046471

(43)Date of publication of application : 16.02.1999

(51)Int.Cl. H02K 21/14
H02K 1/27

(21)Application number : 09-199727

(71)Applicant : HITACHI METALS LTD

(22)Date of filing : 25.07.1997

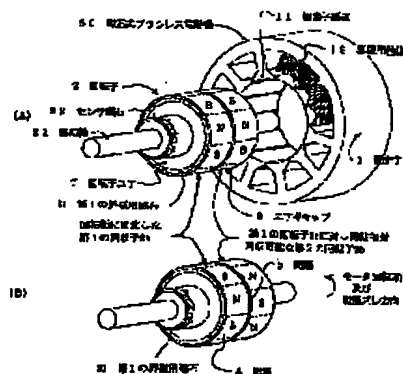
(72)Inventor : MASUZAWA MASAHIRO
HIRAO NORIYOSHI
SASAKI TAKASHI
MITA MASAHIRO

(54) MAGNET EXCITED BRUSHLESS MOTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the peelings of the field magnets of a magnet type brushless motor while using the motor in a high torque at a good conversion efficiency until it rotates several times as fast as its usual rotation, by opposing its first and second rotors to its stator magnet pole, and by varying the relative phase of the synthetic magnetic pole of its first and second rotors to the magnetic pole of its first rotor correspondingly to the revolutions of its rotor.

SOLUTION: Both first and second rotors 2a, 2b are disposed oppositely to a stator magnetic pole 11 with a narrow air gap 6 in between to form a brushless motor 50. Then, by the mechanism for making variable the relative phase of the synthetic magnetic pole of the first and second rotors 2a, 2b to the magnetic pole of the first rotor 2a correspondingly to the revolutions of a rotor 2, the same-polarity magnets of the first and the second rotors 2a, 2b are aligned with each other when the revolutions of the rotor 2 is low, and are slipped at both the same-polarity magnets from each other when the revolutions of the rotor 2 is high. Further, the interlinked magnetic flux quantity of both the rotors 2a, 2b is reduced responding to the relative magnetic pole slippage between both in the case of the high resolutions, and the same-polarity magnetic pole of the first and the second rotors 2a, 2b is aligned with each other around a rotational shaft 21 to make maximum the interlinked magnetic flux quantity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(51)Int.Cl.⁶H 0 2 K 21/14
1/27

識別記号

5 0 1

F I

H 0 2 K 21/14
1/27

M

5 0 1 A

5 0 1 H

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平9-199727

(22)出願日

平成9年(1997)7月25日

(71)出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72)発明者 増澤 正宏

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所

(72)発明者 平尾 則好

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所

(72)発明者 佐々木 崇

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社熊谷工場

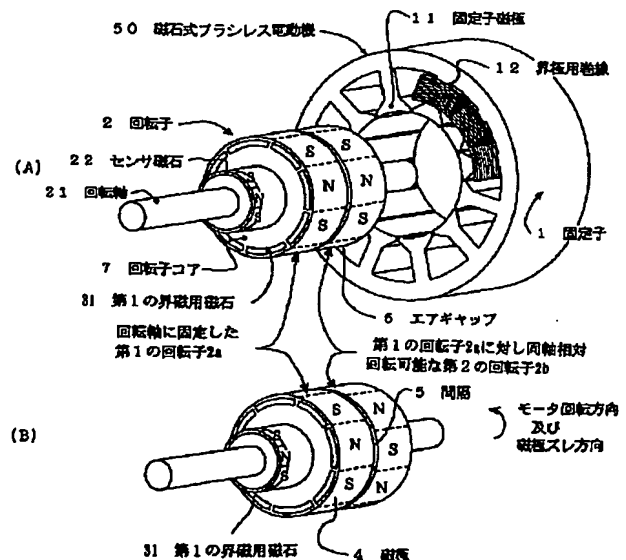
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁石式ブラシレス電動機

(57)【要約】

【課題】 低い回転数の時は従来のものと同じように高いトルクが得られ、さらに従来のものに比較して3倍近い高い回転数まで高いトルクで変換効率よく使用できるとともに高い回転数域での界磁用磁石の剥がれを防止した磁石式ブラシレス電動機を提供する。

【解決手段】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する複数の回転子、及び回転子の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記複数の回転子の合成した磁極の位相を第1の回転子の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、及び回転子の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記回転子は、回転軸まわりに配置されて回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 1 の界磁用磁石とこの第 1 の界磁用磁石の周面に配置された円筒状覆いとを備えた第 1 の回転子と、この第 1 の回転子に対して相対回転可能で回転軸まわりに配置されて回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 2 の界磁用磁石とこの第 2 の界磁用磁石の周面に配置された円筒状覆いとを備えた第 2 の回転子からなり、前記第 1 と第 2 の回転子は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第 1 と第 2 の回転子の合成した磁極の位相を第 1 の回転子の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有することを特徴とする磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 2】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、及び回転子の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記回転子は、回転軸まわりに配置された第 1 の回転子コア内に界磁用磁石が埋設されてこの第 1 の回転子コアの回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 1 の回転子と、回転軸まわりに配置された第 2 の回転子コア内に界磁用磁石が埋設されてこの第 2 の回転子コアの回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいるとともに前記第 1 の回転子に対して相対回転可能とされた第 2 の回転子とからなり、前記第 1 と第 2 の回転子は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第 1 と第 2 の回転子の合成した磁極の位相を第 1 の回転子の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有することを特徴とする磁石式ブラシレス電動機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は永久磁石を界磁に用いた電動機（例えば、電気自動車の動力源用等。）として有用な磁石式ブラシレス電動機に関する。

【0002】

【従来の技術】 自動車等の内燃機関では高トルクを発生する回転領域が非常に狭い。そこで、図 10 に示すように、何種類ものギア比の異なる歯車で構成されたラン

スミッションを用いて、低速から高速まで任意の速度で走れるようにしている。

【0003】ところが、永久磁石を用いた従来のブラシレス DC 電動機の回転数とトルクの関係は図 11 に示すように、トルクは回転数に逆比例して回転数が大きくなるに従い直線的に低下する。電動機にかかる電圧を V 、電動機の界磁が作る磁界の強さに界磁の有効面積をかけた総磁束を Φ 、電機子の巻線数を Z 、抵抗を R とすると、回転数の最大値 (n_{max}) は $V/\Phi Z$ 、トルクの最大値 (T_{max}) は $\Phi Z V/R$ となる。電圧 V が二倍になると最大トルク、最高回転数はともに二倍に増加する。巻線数 Z を変えることにより最大トルクや最高回転数を変化させることもできる。また、総磁束 Φ が大きいほどトルクは大きくなるが、電機子側での磁気飽和に留意して上限値を定める必要がある。

【0004】しかし、従来のブラシレス DC 電動機では、低速回転域で高いトルクが得られるが、回転数の可変範囲が狭いために高速回転することが困難であった。そこで「弱め界磁」という手法により高速回転時には総磁束 Φ を下げることによって回転数の最大値 (n_{max}) を上げることが考えられる。低回転数のときは大きな総磁束 Φ で図 11 の実線で示すようなトルクを得て、回転数が高くなったときには総磁束 Φ を小さくして図 11 の破線で示すような特性を得ることによって、より高い回転数まで回転させることが考えられる。

【0005】また、回転数とともに総磁束を変えることが発電機の場合に提案されている。特開平 7-236259 号「永久磁石式発電機」には、回転子に用いている界磁用永久磁石の複数極からの鎖交磁束によって固定子に起電力を生ずる永久磁石式発電機で、前記界磁用永久磁石と近接してその側面で同軸上に回転自在に配置され前記界磁用永久磁石と同一極数の磁束バイパス用の永久磁石と、回転子の回転数に応じて変位するガバナ機構と、このガバナ機構の変位に対応して前記磁束バイパス用の永久磁石を磁極性の半サイクル分回転させ得るようになっており、回転子の停止時には前記バイパス用の永久磁石の磁極性を界磁用永久磁石の磁極性と同極性に配置し、高速域では前記ガバナ機構によって前記バイパス用の永久磁石を界磁用永久磁石と逆極性の位置に回転するものが開示されている。このようにして、低速回転時には界磁用永久磁石の磁極からの鎖交磁束を大として、高速回転時には界磁用永久磁石からの鎖交磁束を弱くして、発電電力を一定にしようとするものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記弱め界磁制御方式は、トルクと回転数と、時には回転加速度を常に監視し、それらの数値を元に複雑な計算を行って電流の大きさと位相とを制御しなければならず、高速なコンピュータを含む複雑で高価な制御回路が必要になる。また、従来の磁石式ブラシレス DC 電動機におい

て、上記従来の発電機のように界磁用永久磁石の側面で磁極を短絡させることによって鎖交磁束量を小さくしようとしても十分には小さくできないことが判明した。すなわち、回転数の最大値 $n_{max} = V / \Phi Z$ の式から明らかなように、 n_{max} （無負荷回転数ともいう。）を2倍以上にする手段が総磁束 Φ の単純な低下による場合には50%以上も低下させる必要があるが、界磁用磁石の側面を短絡しただけでは多くとも約20~30%未満低下するだけであることを本発明者らは確認している。また、上記従来の発電機では、磁束バイパス用の永久磁石が発電機の回転子と固定子とで構成されている閉じた磁気回路の外にあるので発電機の出力にはほとんど寄与しないのみならず、磁束バイパス用の永久磁石の近傍にモータケースなどの導電性および／または磁性の構造物が存在する場合にはそのバイパス用の永久磁石の発する磁束によってモータケースなどの内部に渦電流を発生させるか、あるいは磁性体との吸引力により電動機の変換効率が低下する事が考えられる。さらに、そのバイパス用永久磁石が追加部品となるため、発電機が大型化し易いという欠点を有する。

【0007】また、近年の回転子の高速回転化の要求に伴い従来の界磁用磁石の位置、例えば図12の要部断面図で示した従来の表面磁石型回転子500における界磁用磁石503には高速回転時に大きな遠心力が作用し、回転子コア507から剥がれるおそれがあった。

【0008】そこで本発明は、低い回転数の時は従来のものと同じように高いトルクが得られ、さらに従来のものと比較して3倍近い高い回転数まで高いトルクで変換効率よく使用できるとともに、高い回転数域での界磁用磁石の剥がれを防止した磁石式ブラシレス電動機（例えば、自動車の駆動用等。）を提供することを課題とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決した本発明は、複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、及び回転子の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記回転子は、回転軸まわりに配置されて回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第1の界磁用磁石とこの第1の界磁用磁石の周面に配置された円筒状覆いとを備えた第1の回転子と、この第1の回転子に対して相対回転可能で回転軸まわりに配置されて回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第2の界磁用磁石とこの第2の界磁用磁石の周面に配置された円筒状覆いとを備えた第2の回転子からなり、前記第1と第2の回転子は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第1と第2の回転子の合成した磁極の位

相を第1の回転子の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有することを特徴とする磁石式ブラシレス電動機である。

【0010】また、本発明は、複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、及び回転子の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記回転子は、回転軸まわりに配置された第1の回転子コア内に界磁用磁石が埋設されてこの第1の回転子コアの回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第1の回転子と、回転軸まわりに配置された第2の回転子コア内に界磁用磁石が埋設されてこの第2の回転子コアの回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいるとともに前記第1の回転子に対して相対回転可能とされた第2の回転子とからなり、前記第1と第2の回転子は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第1と第2の回転子の合成した磁極の位相を第1の回転子の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有することを特徴とする磁石式ブラシレス電動機である。

【0011】

【発明の実施の態様】以下に本発明を詳説する。図1に本発明の一態様である内部磁石型回転子を配した磁石式ブラシレスDC電動機の主要部を分解したものの斜視図を示す。図1（A）において、固定子1には複数（この図では12極）の固定子磁極11に回転磁界を発生するための界磁用巻線12が巻かれている。回転子2は、界磁用磁石31、32の磁極位置を示すために回転軸21に固定されているとともにその外周面の回転方向に第1、第2の界磁用磁石31、32と同様の中心角を有した磁極パターンを形成したセンサ磁石22（例えば、フェライト系のプラスチック磁石等。）を有している。回転子2は第1の内部磁石型回転子2a及びこの第1の回転子2aに相対回転できる第2の内部磁石型回転子2bとからなっている。第1、第2の回転子2a、2bは各々強磁性の回転子コア7、8（例えばSS400製）に設けられた回転軸21に沿った磁極分の個数の貫通穴に埋設された第1の界磁用磁石31、第2の界磁用磁石32（いずれも例えば日立金属製Nd-F e-B系異方性焼結磁石：HS37BH等）を有している。このため、回転子コア7、8の外周面回転方向に等間隔に交互に磁極N、Sが合計8極形成されている。そして、界磁用磁極4の任意磁極の固定子1に対する位置をセンサ磁石22で示し、その磁極位置に応じて界磁用巻線12に通電する電流を切り換える制御回路（図示せず）が付設されていて、固定子磁極11に所定の回転磁界を発生させるようになっている。図示の通り、第1、第2の回転子2a、2bはともに狭いエアギャップ6を隔てて固定子磁

極 11 に対向配置されて本発明の磁石式ブラシレス電動機 50 を構成している。この構成により、第 1、第 2 の回転子 2 a、2 b から発した磁束はともに固定子磁極 11 に効率良く導かれて界磁用巻線 12 と鎖交するので、周囲の構造物に通る洩れ磁束が小さく抑えられて周囲の構造物で渦電流損等の損失を発生する問題を回避することができる。

【0012】図 1 (B)、図 2 (B) に、第 2 の回転子 2 b を第 1 の回転子 2 a に対して相対的に回転子 2 の回転方向に回転させることによって両者の磁極位置をずらした状態を示した。第 1 と第 2 の回転子 2 a、2 b を合成した磁極の第 1 の回転子 2 a の磁極に対する位相はこのような回転子 2 の回転に伴い変化することになる。界磁用巻線 12 への通電は、センサ磁石 22 の磁極をホール素子などの検出手段（図示せず）で検出し、制御を行っている。ブラシレス DC 電動機の場合、理論上回転磁界発生用巻線の通電期間の中心は界磁用磁極の NS 切り替わり点と一致させることにより最大トルクを得られる。しかし、回転磁界発生用巻線のインダクタンス等による通電司令信号に対する電流立ち上がりの遅れを見越して、通電期間の中心を界磁用磁極の NS 切り替わり点より回転順方向に進ませる事が広く行われており、この通電期間を進ませる角度を一般に進角と呼んでいる。本発明ではこの進角の設定も重要である。

【0013】図 2 (A) 及び図 2 (B) にセンサ磁石 22 の磁極と第 1 の回転子 2 a 及び第 2 の回転子 2 b の磁極との位置関係を示した。図 1 (A) 及び図 2 (A) では第 1 の回転子 2 a と第 2 の回転子 2 b とは同じ磁極が隣り合っているので第 1 と第 2 の回転子 2 a、2 b の合成した磁極の位相（例えば、その合成磁極の中心。）はセンサ磁石 22 及び第 1 の回転子 2 a の磁極と同じ位相（例えば、その磁極の中心。）にあるが、図 1 (B) 及び図 2 (B) では第 1 の回転子 2 a に対して第 2 の回転子 2 b が回転順方向にずれた状態を示している。ここで、第 1 の回転子 2 a と第 2 の回転子 2 b とが全く同じ磁束量を発生しているとともに第 2 の回転子 2 b が第 1 の回転子 2 a に対して（ α 度）回転順方向にずらされた場合、第 1 と第 2 の回転子 2 a、2 b の合成した磁極の位相は第 1 と第 2 の回転子 2 a、2 b の磁極位相の平均値となり、その合成した磁極の位相（例えば、その合成磁極の中心。）は第 1 の回転子 2 a の磁極の位相（例えば、その磁極の中心。）に対して回転順方向に進角：

（ $\alpha/2$ 度）分進むことになる。

【0014】そして、第 1 と第 2 の回転子の合成した磁極の第 1 の回転子 2 a の磁極に対する位相を回転子 2 の回転に伴い変化させる機構によって、回転子 2 の回転数が低いときには図 1 (A)、図 2 (A) のように第 1 と第 2 の回転子 2 a、2 b の同じ磁極が並ぶようにし、回転数が高いときには両者の磁極がずれて図 1 (B)、図 2 (B) に示すようになることが望ましい。すなわち、

磁極がずれた場合には第 1 の回転子 2 a の任意の S 極と第 2 の回転子 2 b の任意の N 極と、第 1 の回転子 2 a の任意の N 極と第 2 の回転子 2 b の任意の S 極とが回転軸 21 の長手方向から見た場合に部分的に重なることになる。このように両者の反対の磁極同士が隣接している部分では発生磁束の局所的な短絡が生じるので固定子 1 側の界磁用巻線 12 に到達する鎖交磁束量が減少することになる。すなわち、回転数が高い時には両者間の相対的な磁極ずれ量に応じてその鎖交磁束量を減少させるとともに、回転数が低い場合には第 1、第 2 の回転子 2 a、2 b の同磁極が回転軸 21 まわりで並ぶことにより鎖交磁束量が最大となる。本発明の磁石式ブラシレス電動機 50 は以上のような構成を備えているので、広範囲の回転数変化に応じて鎖交磁束量を制御することが可能であるとともに、回転子 2 が高速回転された場合でも第 1、第 2 の界磁用磁石 31、32 は各々第 1、第 2 の回転子コア 7、8 の内部に固定されているので、上記図 12 の従来の表面磁石型回転子 500 で問題となる高速回転時の界磁用磁石の剥離が発生することはない。

【0015】上記内部磁石型回転子 2 a、2 b は界磁用磁石がアークセグメント状の場合であるが、他の形状の界磁用磁石を埋設した構成としてもよいことは勿論である。図 4 は厚み 0.45 mm の強磁性の薄板円板（例えばケイ素鋼製）308 の中心に回転軸（図示省略）を挿通する穴 321 と磁極分の個数のブロック状界磁用磁石 3 を回転軸（図示省略）に沿って埋設するための穴 349 を形成したものを、回転軸（図示省略）に通すとともに界磁用磁石 3 を配置して積層し上記図 1 用の内部磁石型回転子 100 としてもよい。

【0016】また、内部磁石型回転子におけるさらに他の態様として、図 5 (A) は界磁用磁石 111 の着磁方向が回転子コア 112 の半径方向に対して角度（ $0 < \theta' < 90$ 度）をもって配置された場合である。この配置では界磁用磁石 111 の数が回転子コア 112 の外周側に形成される 1 磁極あたり 2 個となり、また 1 磁極を形成する 2 個の界磁用磁石は同極性磁極同士が対向配置されている。この構成によって、角度 θ を変えることにより 1 磁極当たりの有効磁束量を自在に変えることが出来るという利点を有する。

【0017】また、内部磁石型回転子におけるさらに他の態様として、図 5 (B) は界磁用磁石 121 における着磁方向の中心線が回転子コア 122 の半径方向に配置される場合である。この配置では、界磁用磁石 121 は回転子コア 122 内部に配置されているが表面磁石型回転子に近い有効磁束量が得られる。

【0018】また、内部磁石型回転子におけるさらに他の態様として、図 5 (C) は界磁用磁石 131 の断面形状がかまぼこ状になっている場合の要部断面図を示している。この態様においては界磁用磁石 131 の中央の厚みが両端部に比べ厚いため、この回転子 130 を本発明

の磁石式ブラシレス電動機に組み込んで駆動させた場合、エアギャップ中における回転子 130 の回転方向の有効磁束密度分布を正弦波に近づけることが出来るという利点を有する。

【0019】上記図 1 では第 1 の回転子 2a とセンサ磁石 22 の磁極位相が固定され、第 2 の回転子 2b が第 1 の回転子 2a に対して相対回転可能であるとともに、高速回転時には第 2 の回転子 2b の磁極が第 1 の回転子 2a の磁極に対して回転子 2 の回転順方向に相対的にずれる構成をとっている。本発明では回転子 2a、2b 及びセンサ磁石 22 の 3 部材に関して固定するか回転可能とするかの組合わせは任意であり、例えば第 2 の回転子 2b とセンサ磁石 22 の磁極位相が固定されているとともに高速回転時には第 2 の回転子 2b の磁極が第 1 の回転子 2a の磁極に対して回転順方向に相対的にずれる構成としてもよい。また、第 2 の回転子 2b とセンサ磁石 22 の磁極位相が固定されているとともに、高速回転時には第 2 の回転子 2b の磁極が第 1 の回転子 2a の磁極に対して回転逆方向に相対的にずれる構成としてもよい。また、第 1 の回転子 2a とセンサ磁石 22 の磁極位相が固定されているとともに、高速回転時には第 2 の回転子 2b の磁極が第 1 の回転子 2a の磁極に対して回転逆方向に相対的にずれる構成としてもよい。また、第 1 の回転子 2a と第 2 の回転子 2b の発生磁束量を異なるように配置した一例として、例えば図 1 (A) の状態において第 1 の回転子 2a と第 2 の回転子 2b の鎖交磁束量の比率が 1:2 の場合は、その比率が 1:1 の場合に比べて同一の磁極ずれ動作で界磁用巻線 12 に鎖交する磁束量の変化割合を増加させることができる。さらに、センサ磁石 22 に別個の位相変更機構を設けることで、低回転時及び高回転時において回転数と独立に進角を変化させることもできるし、低回転時及び高回転時において実質的に進角に変化がない構成をとることも可能である。

【0020】第 1 と第 2 の回転子 2a、2b の合成した磁極の位相を第 1 の回転子 2a の磁極に対して回転子 2 の回転に伴い変化させる機構としては図 3 に示すものが望ましい。図 3 において、第 1 の回転子 2a は回転軸 21 に固定してあり、第 2 の回転子 2b はその中央の軸穴 321 に回転軸 21 が挿通されて回転軸 21 まわりに所定量回るようになっている。第 1 の回転子 2a と第 2 の回転子 2b との間に作用する吸引力及び／又は反発力によって上記磁極ずれ動作が妨げられないように、両者間に数 mm の間隔 5 を開けておくことが望ましい。ガバナ固定板 33 は回転軸 21 に固定されているとともに、このガバナ固定板 33 の端面には中心角 90 度間隔で上下左右対称位置に設けた 4 つの穴 331 に各々回転支軸 341 が嵌着されている。ガバナ 34 は略円弧状の部品で両端部に貫通穴 348、349 を設けてある。貫通穴 348 には回転支軸 341 が嵌着され、貫通穴 349 には可動側の軸 342 が嵌着されてガバナ 34 を保持してい

る。さらに、上記穴 331 の各近傍に点対称に 4 つの円弧状の長穴 332 が設けてある。また、回転子コア 8 の片端面には中心角 90 度間隔で上下左右対称な半径方向に 4 つの長溝 322 が設けてあり、これらの各長穴および各長溝に上記可動側の軸 342 が挿入されるとともに、上記 4 本の可動側の軸 342 同士がばね 343 で接続されてその弾性力で引き合うようになっている。このばね 343 の張力により回転子 2 の回転数が低いときには図 3 (A) に示すようにガバナ 34 の可動側軸 342 は長穴 332 内において回転軸 21 に最も近い位置にある。このときは第 2 の回転子 2b と第 1 の回転子 2a の同磁極が並ぶように構成してある。回転子 2 の回転数が大きくなってくると遠心力によりガバナ 34 は図 3

(B) に示す状態に開きガバナ 34 の可動側の軸 342 がガバナ固定板 33 の長穴 332 に沿って外周側に動くと同時に、長溝 322 が長穴 332 に対して回転子 2 の外周側に向かって回転方向にずれて設けてある分だけ可動側の軸 342 の長溝 322 挿入部分はその長溝 322 を介して回転子コア 8 を矢印方向に回転させるので第 2 の回転子 2b が第 1 の回転子 2a に対して矢印方向に回転することができる。回転子 2 の回転数が低くなってくると遠心力が小さくなるのでばね 343 の張力でガバナ 34 が図 3 (A) の状態に閉じて第 1、第 2 の回転子 2a、2b の同磁極が並ぶ位置に戻る。このように、第 2 の回転子 2b を第 1 の回転子 2a に対し所定量回転軸 21 まわりで相対回転させる機構は外部からの制御および動力を要せず、回転子 2 の構成部品に作用する遠心力のみで動作されているので、簡単な機構で容易かつ安価に磁石式ブラシレス電動機の鎖交磁束量の制御を行うことができる。また、上記の通り回転子コア 8 に長溝 322 を設けてあるので長溝 322 からガバナ 34 に至る軸方向寸法 (L) の長寸化を抑えることができるとともに、作用する遠心力を考慮して所定の回転数で上記の磁極ずれ動作が起こるようにばね 343 のばね定数を適宜設定することで後述の実施例に示されるように幅広い回転数領域で高いトルク及びモータ交換効率を獲得することができる。

【0021】図 6 に本発明の他の態様として円筒状覆い付磁石回転子を配した磁石式ブラシレス DC 電動機の主要部分を分解したものの斜視図を示す。図 6 において図 1 と同一符号のものは同一の構成部品を示している。図 6 の磁石式ブラシレス DC 電動機 60 に配置されている 2 つの回転子 20a、20b は各々強磁性の回転子コア 70a、70b の回転方向周面上に空隙 16 を介して第 1、第 2 の界磁用磁石 61、62 を各々磁極数分の個数だけ配設し、さらにその上に非磁性の円筒状覆い（例えば SUS 304 製等）を配設し上記界磁用磁石を補強した構成となっている。このため、回転子 20 が高速回転された場合でも上記界磁用磁石は剥離しないようになっている。ここで、前記円筒状覆いは強磁性材料（例え

ば、炭素鋼等)で形成することもできる。また、前記円筒状覆いの特開平 8-331784 号公報に記載される強磁性部分および非磁性部分が共存するとともにその強磁性部分および非磁性部分の結晶構造が異なる同一素材を用いて形成してもよい。

【0022】図 7 に上記磁石式ブラシレス電動機 60 に用いる円筒状覆い付磁石回転子の他の態様を示す。図 7 の円筒状覆い付磁石回転子 70 においては、界磁用磁石 71 として上記アークセグメント磁石の代わりに、一体リング品形状のラジアル異方性磁石又は多極異方性磁石を用いており、磁石回転子 70 の組立を容易に行い得る。

【0023】(実施例イ～ニ) 本発明の上記磁石式ブラシレス電動機 50 において、第 1 および第 2 の界磁用磁石 31, 32 として日立金属(株)製の Nd-Fe-B

系の異方性焼結磁石: HS-30BV を用いるとともにエアギャップ 6 の厚みを 0.5 mm とした条件で、回転数増加に伴う上記磁極ずれ機構によって、一歯有効磁束量減少率及び進角を下記表 1 の条件で同時に変化させた場合の回転数-トルク特性を図 8 に、回転数-モータ変換効率を図 9 に示した。ここで、一歯有効磁束量とは磁石回転子から電機子の一磁極に流れ込む最大鎖交磁束量をいう。

(従来例ホ) 第 2 の回転子も第 1 の回転子と同じ磁極が並ぶようにして回転軸に固定するとともに進角を 5.5 度で固定した以外は上記実施例と同様にして評価した従来の磁石式ブラシレス電動機の回転数-トルク特性を図 8 に、回転数-モータ変換効率を図 9 に併記した。

【0024】

【表 1】

| | 低回転時進角 (度) | 磁極ずれ (度) | 高回転時進角 (度) | 一歯有効磁束量 減少率 (%) |
|------|---------------|-------------|---------------|--------------------|
| 実施例イ | 20 | 0→28 | 6 | 34 |
| 実施例ロ | 15 | 0→28 | 1 | 34 |
| 実施例ハ | 10 | 0→28 | -4 | 34 |
| 実施例ニ | 5.5 | 0→28 | -8.5 | 34 |
| 従来例ホ | 5.5 | 0→0 | 5.5 | 0 |

【0025】図 8、図 9 及び表 1 について実施例イの磁石式ブラシレス電動機で代表して説明すると、1000 r.p.m. 未満の回転数が低いときには低回転時進角が 20 度であるとともに、1000 r.p.m. 以上に回転数が高くなって磁極ずれが 28 度(最大値)のときの高回転時進角が 6 度となるように設定してある。すなわち、回転数が 1000 r.p.m. 未満のときには、第 1 と第 2 の回転子 2a、2b の磁極の位相ずれがなく同磁極が並んでいる状態でセンサ進角が 20 度にしてある。そして、回転数が 1000 r.p.m. 以上になったときに第 2 の回転子 2b は遠心力によるガバナ 34 の働きで回転子 2 の回転方向に第 1 の回転子 2a に対して 28 度回転して、第 1 と第 2 の回転子 2a、2b の合成した磁極の位相は第 2 の回転子 2b の磁極の位相の半分だけ進む。したがって、進角はそれだけ遅れてくる。第 2 の回転子 2b の磁極ずれが最大の 28 度になったときにその半分の 14 度だけ進角が遅れて 6 度となる。このときの一歯有効磁束量減少率は 34% (100%→66%) であり、従来例ホに比べて幅広い回転数領域で高いトルク及びモータ変換効率を獲得できていることがわかった。また、実施例ロ、ハ、ニについても図示の通り、従来例ホに比べて幅広い回転数領域で高いトルク及びモータ変換効率を獲得できていることがわかった。さらに、実施例イ、ロ、ハ、ニを比較すると、低回転時進角の大きいものほど幅広い回転数領域で高いトルクおよびモータ変換効率を獲得できていることがわかった。

【0026】図 8、図 9 から明らかなように、本発明の磁石式ブラシレス電動機は、従来仕様の電動機と比較して、定格トルク(7 Nm)や最高効率を低下させること

なく、無負荷回転数(n_{max})を 2.8 倍にまで引き上げることができた。また、幅広い回転数領域で高いトルク及びモータ変換効率を得られた。

【0027】上記磁極ずれ角(θ :度)の大きさは、上記第 1 と第 2 の回転子の外周側に対称 n 極の磁極パターンを形成した場合、その n 極の各磁極の中心角を(x :度)とすると、 $x/2 \leq \theta \leq 0.8x$ とすることが好ましい。これは、($x/2$:度)未満では回転数の増加に伴う磁極ずれ動作による一歯有効磁束量の減少率が 30% 以上を確保でき難いとともに、($0.8x$:度)を超えると逆方向の回転力の発生を招来する可能性が高くなり本発明の上記磁極ずれ機構に支障を来すからである。進角(α :度)は、 $0 < \alpha \leq x/2$ とすることが好ましい。この上限値は進角の定義から自明であり、下限値は 0 を含まない制御可能な進角を設定可能であるからである。

【0028】上記実施例では、一歯有効磁束量を 34% 減少させた例を記載したが、本発明によれば一歯有効磁束量の減少率を 30% 以上とすることが極めて容易である。さらに、より好ましくはその減少率を 40% 以上、特に好ましくは 50% とすることも可能である。また、上記本発明の態様では、第 1、第 2 の回転子の外周面に同じ対称 8 極の磁極パターンを形成した場合を記載したが、両者が同じ非対称の磁極パターンであってもよい。さらに、磁極数は限定されるものではないが好ましくは 2 極～128 極、より好ましくは 4～32 極のものに非常に有用である。また、第 1 及び第 2 の回転子が異なる磁極パターンを有していてもよい。さらには、例えば第 1 及び第 2 の回転子の同じ磁極が並んだ状態において発

生する鎖交磁束量の比率を異なる適宜の値に設定することで、高回転数になるとともに1つの磁極ずれ動作によってより大きな鎖交磁束量の変化が可能である。また、上記本発明の態様では、同軸に配置した2つの回転子を用いて回転数の変化に伴ってそのうちの1つを相対回転させることで磁石式ブラシレス電動機の鎖交磁束量を減少させたが、3つ以上の回転子を用いて1つまたは2つ以上の回転子を回転軸に固定するとともに残りの回転子を相対回転させることでも本発明を構成することができる。また、本発明では界磁用磁石の形状、寸法、個数等は限定されるものではなく、回転子の外周面回転方向に交互に異なる磁極が形成されるように回転子コアの内部または外周面上に任意の界磁用磁石を配置可能である。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の磁石式ブラシレス電動機は低い回転数の時は従来のものと同じように高いトルクが得られるとともに、従来のものと比較して3倍近い高い回転数まで高いトルクで交換効率良く使用できる。さらに高速回転時の界磁用磁石の剥がれを防止したので、例えば自動車の駆動用電動機として内燃機関に代えて使える有用なものとなった。

【図面の簡単な説明】

【図1】内部磁石型回転子を配した本発明の磁石式ブラシレス電動機の一態様を示す主要部の分解斜視図であり、磁極ずれが無い状態（A）及び磁極ずれ状態（B）を示している。

【図2】本発明の磁石式ブラシレス電動機において界磁用磁石の磁極の進角を説明する図であり、磁極ずれが無い状態（A）及び磁極ずれ状態（B）を示している。

【図3】本発明の磁石式ブラシレス電動機において、第1と第2の回転子の合成した磁極の位相を第1の回転子の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を示す分解斜視図であり、（A）は低回転数のとき、（B）は高回転数のときである。

【図4】本発明に用いる内部磁石型回転子の他の態様を示す図である。

【図5】本発明に用いる内部磁石型回転子のさらに他の態様を示す要部断面図であり、（A）は界磁用磁石の着

磁方向が回転子コアの半径方向に対して角度を持って配置された場合、（B）は界磁用磁石の着磁方向の中心線が回転子コアの半径方向に配置された場合、（C）は界磁用磁石が薄針型の場合である。

【図6】円筒状覆い付の磁石回転子を用いた本発明の磁石式ブラシレス電動機の一態様を示す主要部の分解斜視図であり、磁極ずれが無い状態（A）及び磁極ずれ状態（B）を示している。

【図7】円筒状覆い付磁石回転子の他の態様を示す図である。

【図8】磁石式ブラシレス電動機の回転数－トルク特性の一例を示す図である。

【図9】磁石式ブラシレス電動機の回転数－モータ変換効率の一例を示す図である。

【図10】トランスミッション付の内燃機関の出力特性図である。

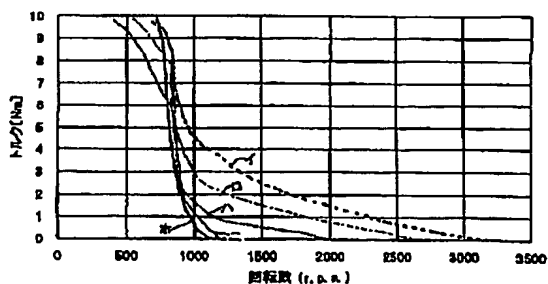
【図11】従来のブラシレスDC電動機の実験特性図である。

【図12】従来の磁石式ブラシレス電動機の回転子を示す図である。

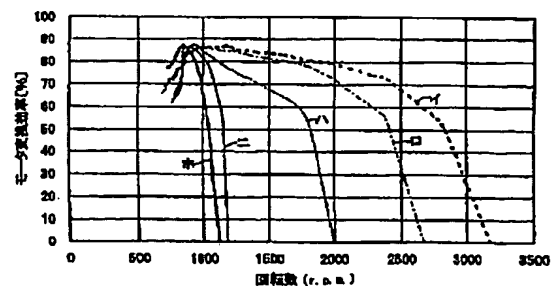
【符号の説明】

1 固定子、2 回転子、3, 503 界磁用磁石、4, 40 磁極、5, 15 間隔、6, 16, 506 空隙、7, 8, 70a, 70b, 72, 507 回転子コア、11 固定子磁極、12 界磁用巻線、20, 70 円筒状覆い付磁石回転子、21 回転軸、22 センサ磁石、31, 61 第1の界磁用磁石、32, 62 第2の界磁用磁石、33 固定部材、34 ガバナ、50, 60 磁石式ブラシレス電動機、2, 100, 110, 120, 130 内部磁石型回転子、111, 121, 131 界磁用磁石、112, 122, 132 回転子コア、113, 123, 133 回転軸、18, 78 円筒状覆い、308 薄板、309 積層体、321 軸穴、322 長溝、331 穴、332 長穴、341 回転支軸（固定軸）、342 可動側軸、343 弾性部材、348, 349 貫通穴、500 表面磁石型回転子、502 回転軸。

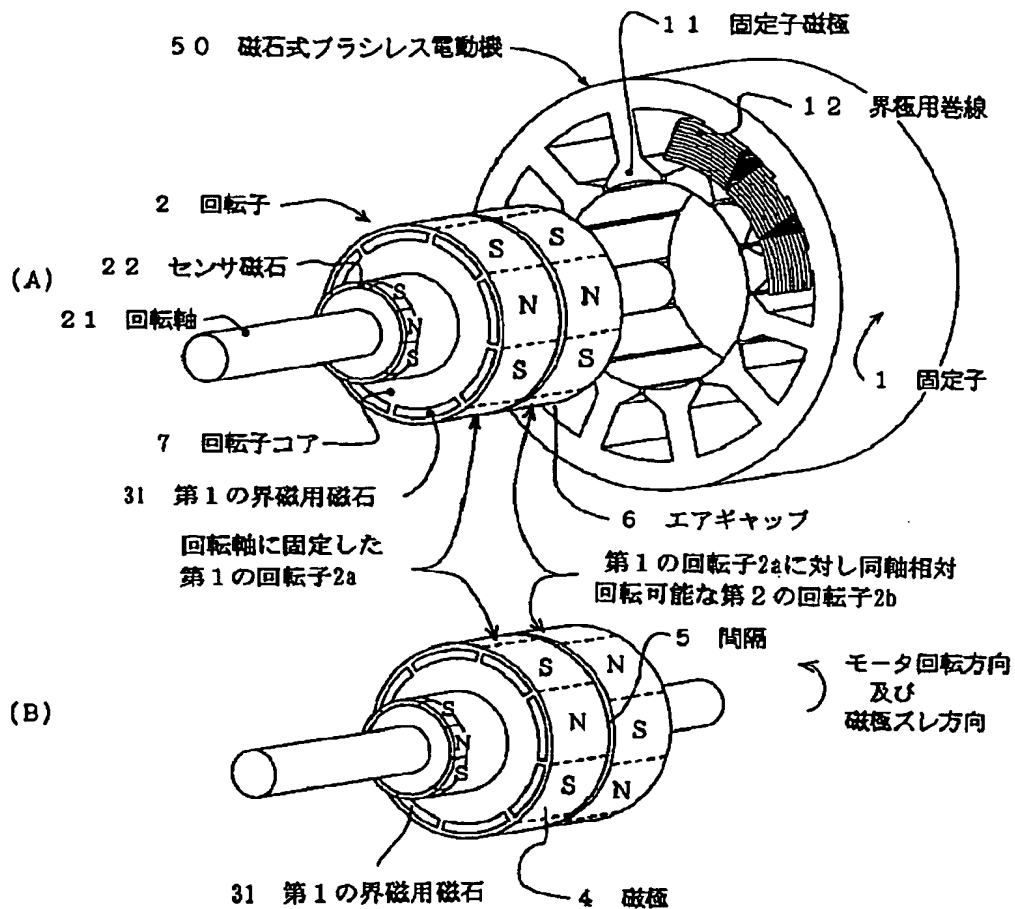
【図8】



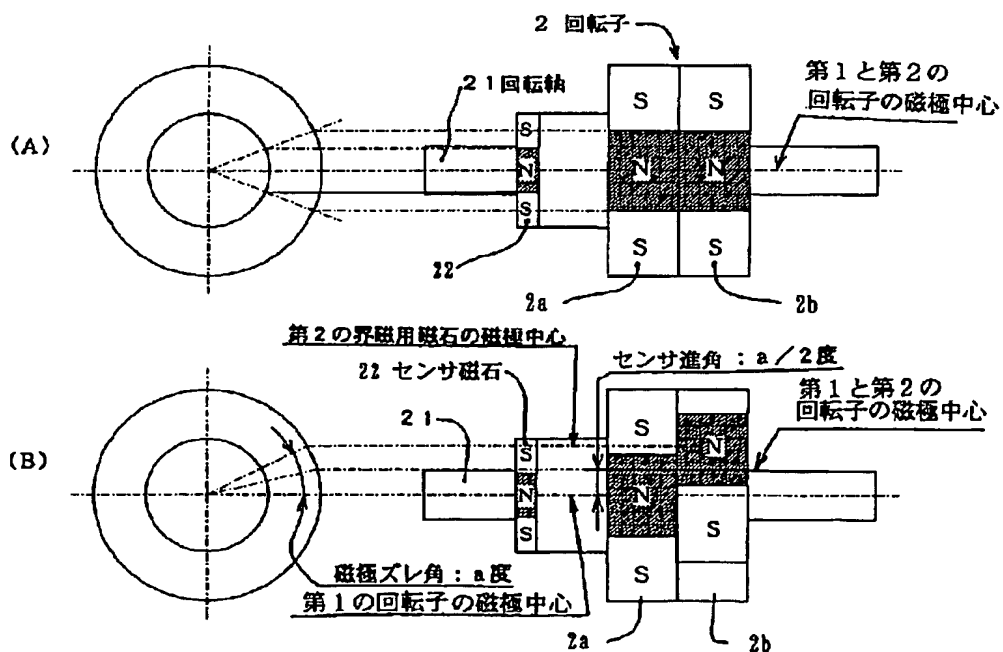
【図9】



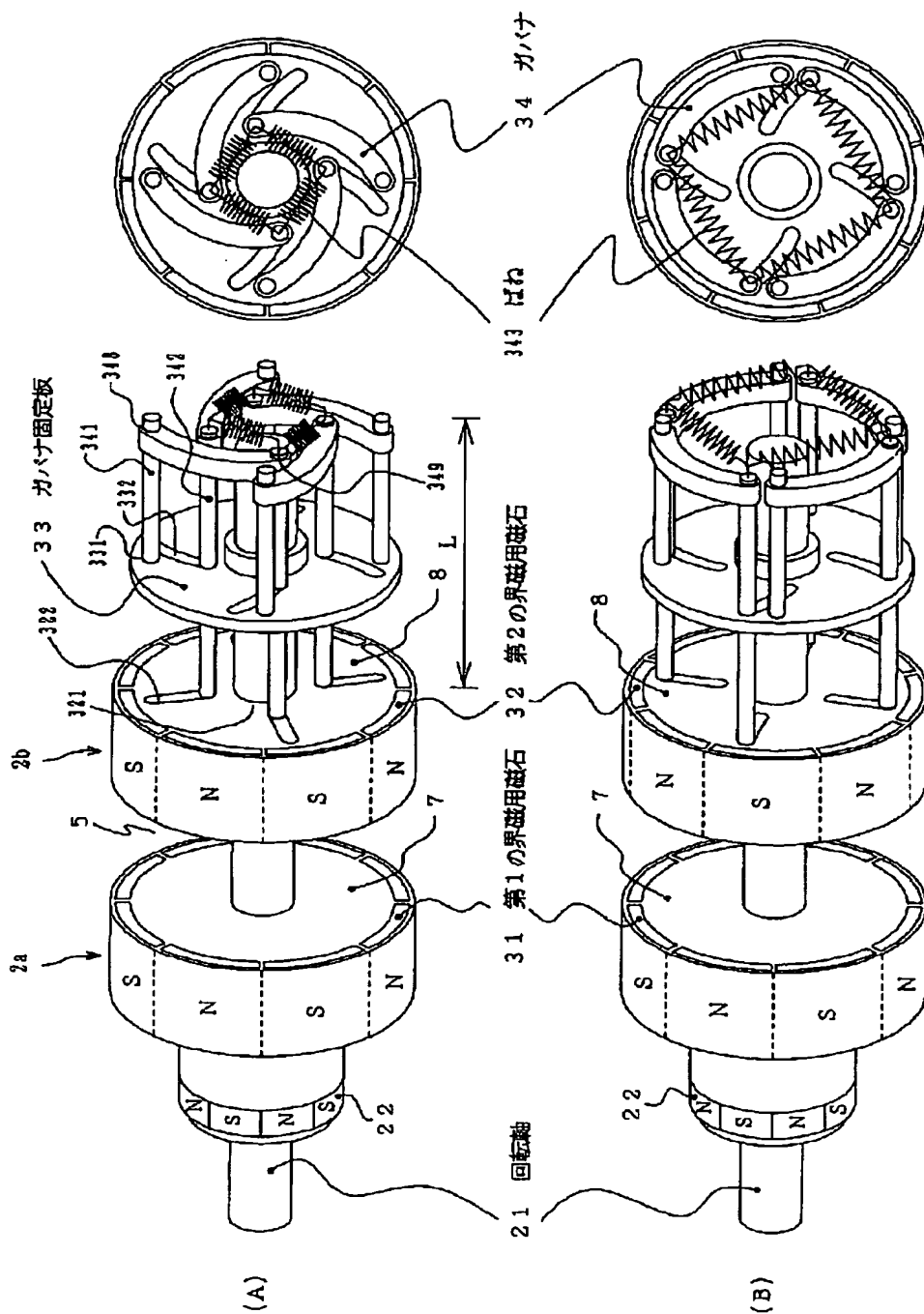
【図1】



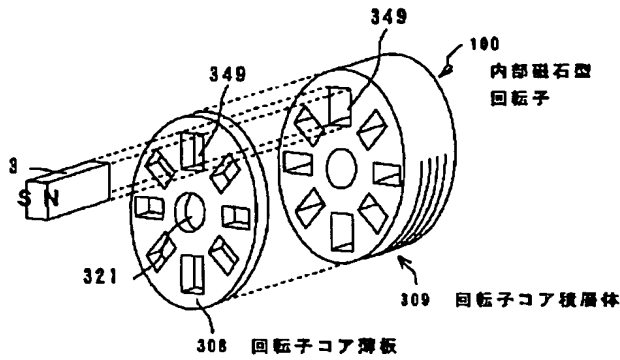
【図2】



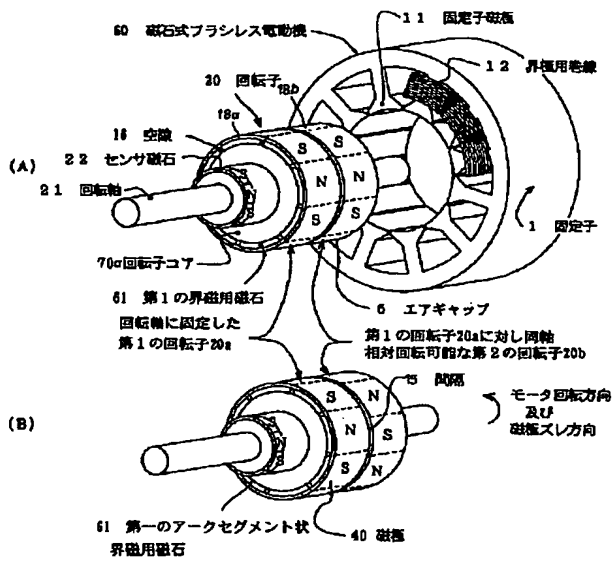
【図3】



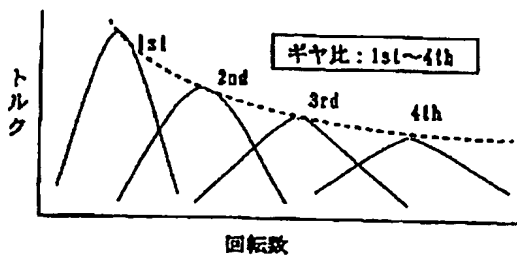
【図4】



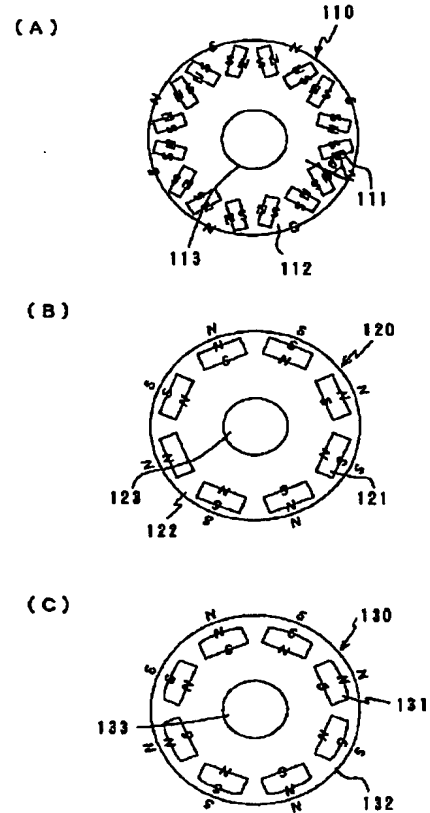
【図6】



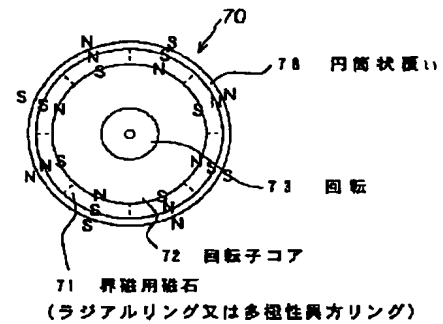
【図10】



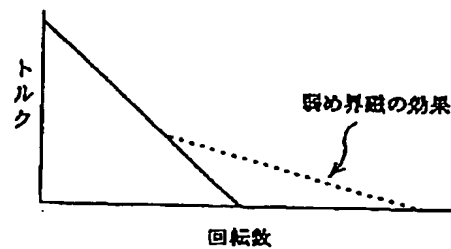
【図5】



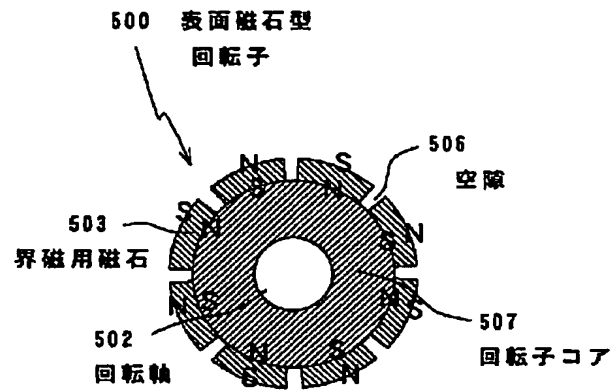
【図7】



【図11】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 三田 正裕
埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所